

# Detección de patologías en señales biomédicas mediante técnicas de machine learning.

Bergamini, María Lorena, Liberczuk, Sergio Javier

[Sergio.Liberczuk@uai.edu.ar](mailto:Sergio.Liberczuk@uai.edu.ar) - [Maria.Bergamini@uai.edu.ar](mailto:Maria.Bergamini@uai.edu.ar)

Universidad Abierta Interamericana –Centro de Altos Estudios en Tecnología Informática (CAETI)

## RESUMEN

El procesamiento de señales biomédicas tiene una importancia relevante en el diagnóstico temprano y prevención de enfermedades. El electrocardiograma (ECG) es un estudio no invasivo, de bajo costo, que brinda información valiosa sobre la actividad eléctrica cardíaca. El análisis de esta señal estudia patrones que se asocian con condiciones anormales de funcionamiento. El objetivo principal de este proyecto es desarrollar técnicas y algoritmos para el análisis, modelado, clasificación y segmentación de señales electrocardiográficas, a fin de que puedan ser aplicados en tiempo real; y poder así dar soporte a la detección temprana de eventos patológicos. Específicamente, nos proponemos diseñar algoritmos de procesamiento de ECG con un enfoque Bayesiano, con el objetivo de sintonizar los parámetros de un modelo dinámico que permitan la síntesis de señales de ECG registrables durante procesos de isquemia e infarto. Asimismo, se aplicarán técnicas de machine learning para procesar los parámetros y configurar un sistema de asistencia al médico en el diagnóstico automático de patologías.

## CONTEXTO

La investigación aquí descrita surge de la colaboración entre el Centro de Altos Estudios en Tecnología Informática (CAETI), de la Facultad de Tecnología Informática de la Universidad Abierta Interamericana (UAI), conjuntamente con el Instituto Argentino de

Matemática Alberto P. Calderón, (IAM) dependiente de CONICET y el Instituto de Ingeniería Biomédica (IIBM) de la Universidad de Buenos Aires.

El CAETI concentra proyectos de investigación básica y aplicada, que pretenden contribuir a la generación de herramientas informáticas y tecnológicas para dar solución a problemáticas sociales y humanas. Uno de los objetivos del centro es promover la inserción de la Tecnología Informática en asuntos multidisciplinarios de impacto social.

## 1. INTRODUCCIÓN

La señal de electrocardiograma registra la actividad eléctrica del corazón, mostrando la variación temporal del potencial eléctrico que se registra a partir de electrodos dispuestos convenientemente en la superficie del tórax. La morfología de este registro y su interpretación a partir de la detección de sus ondas características, así como diversos cálculos que surgen de la detección de dichos puntos característicos, permiten el diagnóstico de distintas patologías: arritmias cardíacas, cardiopatías isquémicas, infarto y/o alteraciones de la conducción auriculo-ventricular. Dichas patologías pueden ser detectadas con antelación mediante un adecuado análisis de la señal de ECG (Martis et al., 2014).

El estudio del ECG, sus amplitudes de onda, sus intervalos temporales y patrones ha sido objeto de intensas investigaciones, ya que proporciona información sustancial de la

funcionalidad del corazón. La extracción de señales cardíacas de alta resolución de un electrocardiograma ruidoso sigue siendo un problema de interés para la comunidad de ingeniería biomédica. A pesar de la rica literatura en este campo, todavía hay muchas aplicaciones clínicas que carecen de herramientas confiables de procesamiento para extraer las componentes ricas en información del ECG, que se encuentran inmersas en potencias de ruido considerable por lo que poseen baja relación señal ruido (SNR).

Para señales estacionarias, el filtro de Wiener es la técnica de filtrado lineal en el sentido del mínimo error cuadrático medio, aplicado de modo causal en el dominio temporal o de modo no causal en el dominio frecuencial. Sin embargo, no se espera que el filtrado de Wiener dé buenos resultados para señales no estacionarias.

Las técnicas estadísticas como el Análisis de Componentes Principales (PCA), Análisis de Componentes Independientes (ICA) y las Redes Neuronales (NNs) también se han utilizado para construir un modelo estadístico de la señal y del ruido, lo que permite la eliminación de éste en banda descartando las componentes correspondientes exclusivamente a dicho ruido. Aunque estos son esquemas poderosos de filtrado, el modelo utilizado es bastante arbitrario y pueden ser extremadamente sensibles a pequeños cambios tanto en la señal como en el ruido.

En algunos trabajos recientes se ha propuesto un paradigma de Filtrado Bayesiano para la compresión de señales biológicas en general y de ECG en particular; y el filtrado del ruido en la misma (Sayadi et al., 2010, Sameni et al., 2007). Este marco también puede ser utilizado eficazmente para la segmentación y la extracción de características.

La falta de una adecuada comprensión de la dinámica eléctrica cardíaca hace difícil optimizar las técnicas computacionales empleadas, obteniendo como consecuencia un aumento en el número de falsos positivos y por lo tanto una baja especificidad al

momento de emitir un diagnóstico asistido por computadora. Una solución a este tipo de problema ha sido la creación de modelos matemáticos de la actividad eléctrica cardíaca, que permitan recrear diversas y complejas situaciones electrofisiológicas. De esta manera, se pueden sintetizar conjuntos de señales de ECG para entrenamiento y validación de los sistemas de diagnóstico asistido (Kundu & Gupta, 2015)

McSharry et al. (2003), han desarrollado un modelo para simular con gran precisión diversos trazados de ECG correspondientes a condiciones fisiológicas y algunas patologías cardíacas.

La tendencia actual en procesamiento de señales biomédicas se dirige a la aplicación de técnicas de inteligencia artificial como redes neuronales, algoritmos genéticos y técnicas basadas en lógica difusa (fuzzy logic) (Engin, 2004; Ahsan et al., 2011; Tamil et al., 2008)

Los métodos de aprendizaje profundo, como las redes neuronales convolucionales (CNN), pueden extraer automáticamente características distintivas y han demostrado su eficacia para reconocimiento y clasificación de señales biomédicas. Recientemente, Rivera & Gonzalez (2019) aplicaron redes neuronales artificiales a la tarea de clasificación de ECG, transformando las señales en imágenes, que usaron de entrada para el aprendizaje. Por otro lado, Labati et al. (2019), desarrollaron un enfoque biométrico basado en redes neuronales convolucionales (CNN) para señales de ECG con muy buenos rendimientos usando datos controlados y no controlados.

Muchas tareas de análisis de datos en problemas reales implican estimar cantidades desconocidas a partir de algunas observaciones. Frecuentemente, se cuenta con el conocimiento previo sobre el fenómeno que se modela, y es posible formular distribuciones previas para las cantidades desconocidas y funciones de verosimilitud que relacionan estas cantidades con las observaciones.

Dentro de este contexto, toda inferencia sobre las cantidades desconocidas se basa en la distribución posterior obtenida del teorema

de Bayes. Bajo ciertas hipótesis, es posible derivar una expresión analítica exacta para calcular las distribuciones posteriores. Esta recursión es el conocido y extendido filtro de Kalman.

Las suposiciones necesarias para aplicar un filtro de Kalman podrían resultar muy restrictivas. De acuerdo con el campo de interés, el problema aparece bajo muchos nombres diferentes, incluido el filtrado bayesiano, el filtrado óptimo (no lineal), el filtrado estocástico y la inferencia y el aprendizaje en línea.

El filtrado bayesiano es un marco para tratar problemas dinámicos, donde las variables y los datos responden a dos procesos estocásticos. Su implementación numérica, en el caso de los modelos no lineales generales, requiere el uso de técnicas de integración numérica como Filtros de Partículas (PF), que son esencialmente una clase de métodos secuenciales de Monte Carlo donde los puntos de soporte, llamados partículas, evolucionan con el tiempo de acuerdo con el núcleo de transición del proceso desconocido.

El filtrado estocástico es un problema inverso: dadas las observaciones recopiladas (mediciones u observaciones) en pasos de tiempo discretos, es necesario deducir el estado real que produce esas medidas. En otra perspectiva, este problema puede interpretarse como un problema de aprendizaje de mapeo inverso: encontrar las entradas desconocidas, con una función de mapeo que produce los datos de salida medidos.

Este esquema conduce a un algoritmo para la restauración de la señal de ECG sin ruido a partir de un conjunto de observaciones ruidosas y / o ambiguas.

En Liberczuk et al. (2019) proponemos un nuevo método para encontrar los parámetros que mejor representan un determinado latido. Y en Liberczuk & Bergamini (2018) clasificamos estos latidos en el espacio de parámetros entre fisiológicos y patológicos, con altas tasas de performance en la clasificación. Además, hemos desarrollado un método para eliminar ruidos de señales de ECG basado en técnicas de filtro de Monte Carlo que estiman el estado (valor de señal

filtrada) a partir de observaciones ruidosas, simuladas con diferentes SNR (Bergamini & Liberczuk, 2019).

## 2. LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO

El desarrollo de esta investigación está orientado en principio a sintonizar y validar un modelo computacional del comportamiento electrofisiológico del corazón basado en el modelo de McSharry et al. [6], reformulado por nuestro grupo en la incorporación de modificaciones que consideren y permitan recrear situaciones asociadas a cambios durante eventos cardíacos, como procesos isquémicos y de infarto.

Las técnicas de procesamiento que utilizamos se encuentran dentro del paradigma de filtrado bayesiano. Se están implementando técnicas de filtrado lineal y no lineal para la correcta extracción de información y detección de patrones de los eventos buscados. Estos métodos de procesamiento tienen alto rendimiento en señales con baja SNR, pero requieren un modelo adecuado de la dinámica del sistema que permita inferir el estado del sistema a partir de las observaciones medidas secuencialmente.

Se utiliza en principio el mencionado modelo de McSharry que se basa en suponer que la señal consiste en una suma de funciones gaussianas, cada una caracterizada por su ubicación, su amplitud y su ancho. Así, el modelo queda dependiendo de un conjunto bien determinado de parámetros. El conjunto de parámetros puede utilizarse no solo en esquemas de filtrado sino en aplicaciones de compresión, clustering y/o clasificación de patrones en señales (Clifford et al., 2005).

Se analizará la posibilidad de plantear un nuevo espacio de estado, basado en la descomposición de la señal en distintas ondas senoidales (modos empíricos), que capturen, en diferentes frecuencias, distintos niveles de información [Rilling et al., 2003, Huang et al., 1998]. Este enfoque, al ser empírico, es independiente de cualquier modelo

matemático considerado, y casi no requiere ninguna hipótesis previa. Las características de los distintos modos empíricos podrían evidenciar patrones característicos de eventos cardíacos.

Se experimentará con redes neuronales, redes neuronales convolucionales o redes neuronales recurrentes a fin de lograr la automática clasificación de latidos. Los inputs de dichas redes estarán conformados por las características obtenidas por cada latido, o por cada señal ECG, mediante las técnicas de procesamiento y análisis descritas anteriormente.

Las señales son tomadas de bases de datos validadas internacionalmente como la base de datos de ECG Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB) disponible en Physio-Bank [10] que aporta gran cantidad de pacientes sanos, con isquemia e infarto. Los ECG están digitalizados a 1Khz, con 16 bits de resolución sobre un rango de 16.384mV. Cada registro incluye las 12 derivaciones simultáneas y las derivaciones ortogonales de Franz. Se dispone de la historia clínica de los pacientes.

### 3. RESULTADOS OBTENIDOS/ESPERADOS

En nuestra investigación hemos obtenido los siguientes resultados:

- Algoritmo eficiente para la estimación de parámetros del modelo de la actividad eléctrica del corazón. Como resultado del algoritmo se obtienen los parámetros que mejor ajustan el modelo a latidos reales dados, y que reflejan la morfología del latido. El algoritmo ejecuta una optimización global heurística, basado en método de simulación de Monte Carlo.
- Clasificación de latidos provenientes de sujetos sanos y sujetos que han sufrido un evento cardíaco, basado en separación del espacio de parámetros obtenidos, aplicando support vector machine (SVM).
- Implementación de un algoritmo de filtrado con un enfoque bayesiano, a fin de separar las componentes de ruido en una señal de ECG. Se ha logrado muy buena performance con distintos niveles de SNR (Signal/Noise Ratio)

Los resultados esperados son:

- Caracterizar señales de electrocardiograma (ECG) con diversas patologías en el espacio de los parámetros del modelo de la señal utilizado para representarla de un modo alternativo a fin de facilitar su clasificación.
- Plantear y testear un nuevo sistema de representación de señales que permita detectar patrones ocultos, indicativos de posibles eventos patológicos.
- Diseñar, entrenar y testear una red neuronal capaz de identificar señales electrocardiográficas patológicas, a partir del aprendizaje de los features que las identifican.

### 4. FORMACIÓN DE RECURSOS HUMANOS

El equipo de investigación llevará adelante las ideas aquí expuestas está conformado por los autores de este trabajo.

El Bioing. Sergio Liberczuk se encuentra desarrollando su tesis de Doctorado, bajo la dirección del Doctor Silvano Zanutto (Director del Instituto de Ingeniería Biomédica de la UBA) y la codirección del Dr. Pedro Arini en la Facultad de Ingeniería de la UBA.

### 5. BIBLIOGRAFÍA

- Ahsan M.R., M. I. Ibrahimy , O. Khalifa. (2011) “ Electromyography (EMG) signal based hand gesture recognition using artificial neural network (ANN)“. In 2011 4th International Conference on Mechatronics (ICOM), pp 1-6, IEEE.
- Bergamini M.L., S. J. Liberczuk (2019). “Bayesian Inversion Approach for ECG Denoising”. VII Congreso de Matemática Aplicada, Computacional e Industrial VII MACI 2019. Río Cuarto, Córdoba, Argentina.
- G. Clifford, A. Shoeb, P. McSharry, B. Janz. (2005) “Model-based filtering, compression and classification of the ECG”. International Journal of Bioelectromagnetism, vol. 7, no. 1, pp. 158–161.

- M. Engin. (2004) "ECG beat classification using neuro-fuzzy network". *Pattern Recognition Letters* 25(15), pp 1715-1722.
- Huang, N. E., Shen, Z., Long, S. R., Wu, M. C., Shih, H. H., Zheng, Q., Liu, H. H. (1998). "The empirical mode decomposition and the Hilbert spectrum for nonlinear and non-stationary time series analysis". *Proceedings of the Royal Society of London. Series A: mathematical, physical and engineering sciences*, 454(1971), 903-995 *Proc. R. Soc. Lond. A*. 1998
- P. Kundu, R. Gupta. (2015) "Electrocardiogram Synthesis using Gaussian and Fourier Models", *IEEE Int Conf on Research in Computational Intelligence and Communication Networks*, Nov 20-22, Kolkata, India, pp.312-317.
- Labati R.D., E. Muñoz, V. Piuri, R. Sassi, F. Scotti (2019) "Deep-ECG: Convolutional Neural Networks for ECG biometric recognition". *Pattern recognition letter* 126,1, pp. 78-85.
- Liberczuk S.J., M.L. Bergamini, P. D. Arini (2019). "Heart Beat Parametric Modeling Based on Monte Carlo Fitting Techniques". *Revista Argentina de Bioingeniería*, Vol. 23 (1), pp. 63-68. ISSN: 2591-376X
- Liberczuk S., M. L. Bergamini, (2018). "Model Based Feature Extraction Method for Myocardial Infarction Detection". *XXI Congreso Argentino de Mecánica Computacional*, 2018.
- P. E. McSharry, G. D. Clifford, L. Tarassenko, and L. A. Smith. (2003), "A dynamical model for generating synthetic electrocardiogram signals". *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, vol. 50, no. 3, pp. 289–294.
- R. J. Martis, U. R. Acharya, and H. Adeli. (2014) "Current methods in electrocardiogram characterization". *Computers in biology and medicine*, vol. 48, pp. 133–149.
- R. Sameni, M. Shamsollahi, C. Jutten, G. Clifford, (2007) "A nonlinear Bayesian filtering framework for ECG denoising". *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, vol. 54, no. 12, pp. 2172–2185.
- O. Sayadi, M. Shamsollahi, G. Clifford. (2010) "Robust detection of premature ventricular contractions using a wave-based Bayesian framework". *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, vol. 57, no. 2, pp. 353–362.
- Tamil E.B.M., Kamarudin N.H., Salleh R., Tamil A.M. (2008) "A Review on Feature Extraction & Classification Techniques for Biosignal Processing (Part I: Electrocardiogram)". In: Abu Osman N.A., Ibrahim F., Wan Abas W.A.B., Abdul Rahman H.S., Ting HN. (eds) *4th Kuala Lumpur International Conference on Biomedical Engineering 2008*. IFMBE Proceedings, vol 21. Springer, Berlin, Heidelberg.
- Physionet:  
<https://www.physionet.org/physiobank/database>
- Ranjan, R., Awasthi, A., Aggarawal, N., Gulati, J. (2006). "Applications of fuzzy and neuro-fuzzy in biomedical health sciences". In *2006 IEEE International Conference on Electro/Information Technology*, pp. 60-65. IEEE.
- Rilling, G., Flandrin, P., & Goncalves, P. (2003). "On empirical mode decomposition and its algorithms". In *IEEE-EURASIP Workshop on nonlinear signal and image processing (Vol. 3, No. 3, pp. 8-11*.
- Sánchez, F. R., Cervera, J. G. (2019). "ECG Classification Using Artificial Neural Networks". In *Journal of Physics: Conference Series*, Vol. 1221, No. 1, p. 012062. IOP Publishing.